

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-068419

(43)Date of publication of application : 10.03.1998

(51)Int.Cl.

F16C 33/32

F16C 33/58

F16C 33/62

(21)Application number : 09-175235

(71)Applicant : NIPPON SEIKO KK

(22)Date of filing : 16.06.1997

(72)Inventor : MITAMURA NOBUAKI

SEKINO KAZUO

MURAKAMI YASUO

(30)Priority

Priority number : 08177095

Priority date : 17.06.1996

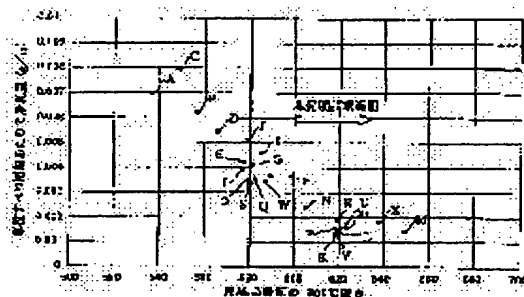
Priority country : JP

(54) ROLLING BEARING

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a rolling bearing which can surely have wear resistance under severe conditions and improve its life.

SOLUTION: A race (outer ring, inner ring) and a rolling body (ball) have hardness of not less than 600HV at 300° C at the surfaces thereof and are constituted by carbides and carbonitride deposited on the surface whose maximum particle size is not more than 5 μ m. Since the surface hardness is specified at a high temperature of 300° C, the race and the rolling body has surely wear resistance of not less than a predetermined value to improve the life of a bearing. Since the maximum particle size of the carbides and carbonitrides deposited on the surface are not more than 5 μ m by hardening of the surface, roughness of the surface caused by wear is reduced to improve wear resistance and durability life of the bearing.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-68419

(43) 公開日 平成10年(1998) 3月10日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

F 1 6 C 33/32

F 1 6 C 33/32

33/58

33/58

33/62

33/62

審査請求 未請求 請求項の数 1 F D (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平9-175235

(22) 出願日 平成9年(1997) 6月16日

(31) 優先権主張番号 特願平8-177095

(32) 優先日 平8(1996) 6月17日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004204

日本精工株式会社

東京都品川区大崎1丁目6番3号

(72) 発明者 三田村 宜晶

神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目5番50号

日本精工株式会社内

(72) 発明者 関野 和雄

神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目5番50号

日本精工株式会社内

(72) 発明者 村上 保夫

神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目5番50号

日本精工株式会社内

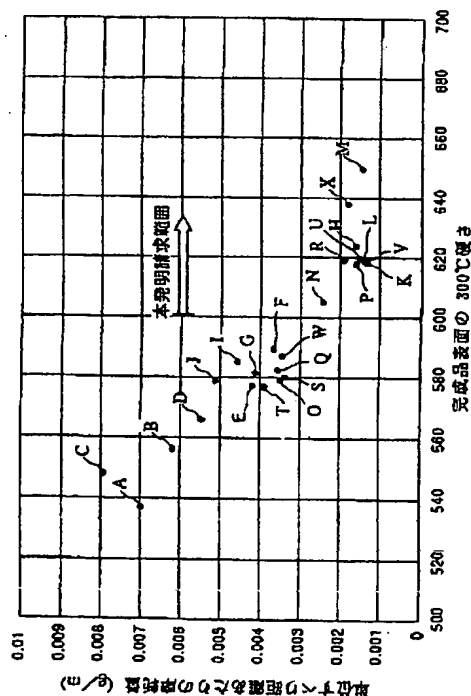
(74) 代理人 弁理士 森 哲也 (外2名)

(54) 【発明の名称】 転がり軸受

(57) 【要約】

【課題】 過酷条件下での耐摩耗性を確実に確保し、軸受の寿命を向上できる転がり軸受の提供を課題としている。

【解決手段】 軌道輪（外輪・内輪）、転動体（玉）は、それぞれ表面が300℃でHV600以上の硬さを有し、表層部に析出した炭化物及び炭窒化物の最大粒径が5μm以下の各完成品表面から構成される。高温である300℃で表面硬さを特定することで、確実に、軌道輪及び転動体に所定以上の耐摩耗性が確保され、軸受の寿命が向上する。更に、表面硬化のために析出する炭化物及び炭窒化物の最大粒径が5μm以下となっているので、摩耗による表面の荒れも軽減されて、この点からも耐摩耗性が向上し、軸受の耐久寿命が更に向上する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 軌道輪及び転動体の少なくとも一つが表層部に炭化物及び炭窒化物の少なくとも一方が析出された鋼からなる転がり軸受において、

上記鋼からなる軌道輪及び転動体の少なくとも一つの完成品表面は、300℃でHV600以上700以下の硬さを有し、且つ、上記炭化物及び炭窒化物の最大粒径が5 μ m以下であることを特徴とする転がり軸受。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、転がり軸受に係り、特に、潤滑条件が厳しく軌道輪と転動体との間にすべりが大きく生じるような環境下で使用される場合に有効な転がり軸受に関するものである。

【0002】

【従来の技術】軌道輪（内輪・外輪）及び転動体を主部品とする転がり軸受は、高い面圧下で繰り返し剪断応力を受けるといった厳しい使用環境を耐えるため、その剪断応力に耐える転がり疲労寿命を確保する必要がある。また、軸受は作動中に転がり応力の他に繰り返し軌道輪と転動体との間にすべりが生じ、それによって摩耗が生じるため耐摩耗性が良好であることが望まれる。

【0003】そこで、通常、軌道輪及び転動体の材料に、高クロム炭素軸受鋼を用い、それに焼入れ・焼戻しを施すことや肌焼き鋼に浸炭した後、焼入れ・焼戻しを施すことにより、要求される転がり疲労特性や耐摩耗性を確保してきた。

【0004】しかしながら、最近では転がり軸受を使用する機械の高負荷化・高速化が進み、従来に比べて、軸受の使用条件は高温化、油膜形成不足、高PV値などかなり厳しいものとなってきており、上記軸受の有する耐摩耗性では満足できないものとなってきている。

【0005】このような厳しい使用環境に対処して、従来技術では、軌道輪及び転動体に、ステンレス鋼及びハイス系材料（SKH材やM50鋼）に代表される炭化物形成元素を多量に含む高合金鋼を使い、表面に多量の炭化物を析出させて表面硬さを高くし、耐摩耗性の改善を図っている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、軸受の素材として、高炭素軸受鋼（SUJ2）や浸炭処理された通常の肌焼き鋼を使用した場合、上記のような過酷条件下では摩耗が著しく早く進行し寿命が短いという問題がある。

【0007】また、耐摩耗性を向上するために、上述のような高合金鋼（ステンレス鋼やハイス系材料）を使うことで、従来の軸受材料である高炭素軸受鋼（SUJ2）や浸炭処理された通常の肌焼き鋼を使用した場合に比べ、耐摩耗性は向上する。

【0008】しかし、さらに厳しい環境下では、上記従

来の高合金鋼を材料に用いた軸受においても軌道輪の軌道面及び転動体の転動面に、転動体表面の拡大写真である図16（a）に示されるように、バンド状の摩耗が発生し（写真中で上下にやや黒くなっている部分がバンド状の摩耗部分である）、つまり軌道輪と転動体との軌道面の走行跡が一定となり局部摩耗するため、振動及び音響特性を劣化させ、さらにはピーリング等の表面損傷が発生して、軸受が破損するおそれがあるという問題がある。

10 【0009】これは、後述のように、室温での表面硬さと耐摩耗性に相関関係がないため、室温での表面硬さを大きくするようにしても、必ずしも耐摩耗性が向上しないことが原因の一つとなっている（図3参照）。

【0010】本発明は、上記のような問題点に着目してなされたもので、過酷条件下での耐摩耗性を確実に確保し、軸受の寿命を向上できる転がり軸受の提供を課題としている。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明の転がり軸受は、軌道輪及び転動体の少なくとも一つが表層部に炭化物及び炭窒化物の少なくとも一方が析出された鋼からなる転がり軸受において、上記鋼からなる軌道輪及び転動体の少なくとも一つの完成品表面は、300℃でHV600以上700以下の硬さを有し、且つ、上記炭化物及び炭窒化物の最大粒径が5 μ m以下であることを特徴としている。

30 【0012】この発明においては、後述のように高温での表面硬さと耐摩耗性とに高い相関関係があることに基づき300℃でHV600以上の表面硬さとする事で、確実に耐摩耗性に優れた軸受部品となる。更に、炭化物及び炭窒化物を析出させることで表面の硬度を高くするとともに、その最大粒径を5 μ m以下とする事で、表面粗さの劣化を抑える。

【0013】ここで、上記300℃でHV600以上700以下の表面硬さとした限定理由について説明する。通常、表面硬さ（常温での硬さ）を上げることにより耐摩耗性は向上すると考えられているが、実験を行ったところ、常温での表面硬さと耐摩耗性との間にはあまり相関関係が見られなかった。例えば、常温での表面硬さがHV700から850の高硬度の鉄鋼材料の範囲においては、必ずしも耐摩耗性は、常温での表面硬さに依存していない（図3参照）。

【0014】これに対して、実験により、高温での表面硬さが高い値を示すものは、耐摩耗性に優れている傾向を示し、特に、300℃における表面硬さと摩耗量との間には高い相関関係があることを確認し、また、300℃で表面硬さがHV600以上のものは良好な耐摩耗性を示したため、300℃でHV600以上の表面硬さに限定した（図4から図6参照）。

50 【0015】なお、例えば、300℃より高い400℃

3

で表面硬さを限定することも可能であるが、300℃に換算した表面硬さが本発明の範囲内であれば、本発明の内容となる。

【0016】また、300℃での硬度はHV600以上であればいくらかでもよいが、硬度を大きくするには炭化物形成元素を多量に投入したりすることが要求されるため、HV700程度が限度である。これに基づき、300℃での表面硬さの上限値をHV700としている。

【0017】なお、室温雰囲気での摩耗特性と高温での表面硬さとの間に高い相関関係があった理由は、実際の摩擦面（軌道面及び転動面）の真実の接触部はかなり高温になっているため高温での硬さなどの機械的強度が、

摩耗量に大きく影響を与えるためと推測される。

【0018】次に、炭化物及び炭窒化物の最大粒径を5μm以下とした理由について説明する。炭化物及び炭窒化物の粒径と表面粗さとの関係を調べてみたところ、粒径が大きくなるほど表面粗さが劣化して面荒れが生じ、逆に、粒径が5μm以下になると、表面粗さの劣化が非常に小さなものとなり面荒れの状態が軽度であったので、最大粒径を5μm以下とした（図7参照）。

【0019】ここで、表層部の炭化物及び炭窒化物の最大粒径は、浸炭・浸炭窒化後の表面炭素濃度や表面窒素濃度で調整すればよい。

【0020】

【発明の実施の形態】次に、本発明の実施の形態について図面を参照しつつ説明する。本発明の転がり軸受の軸受部品である、外輪及び内輪（軌道輪）、玉（転動体）は、それぞれ表面が300℃でHV600以上の硬さを有し、表層部に析出した炭化物及び炭窒化物の最大粒径が5μm以下の各完成品表面から構成される。なお、表層部には、必ずしも炭化物及び炭窒化物の両方が析出する必要はなく、例えば、炭化物だけ析出している場合もある。

【0021】そして、高温である300℃で表面硬さを特定することで、確実に、軌道輪及び転動体に所定以上の耐摩耗性が確保され、軸受の寿命が向上する。また、表面硬化のために析出する炭化物及び炭窒化物の最大粒径が5μm以下となっているので、摩耗による表面の荒れも軽減されて、この点からも耐摩耗性が向上し、軸受の耐久寿命が更に向上する。

【0022】なお、上記説明では、外輪、内輪、転動体の全ての完成品を本発明に基づいて形成するようにしているが、外輪、内輪、転動体のうちの一部品以上のみに本発明を適用しても構わない。

【0023】上記特性を持つ完成品は、例えば、次に示す二つの製造方法によって製造される。第1の製造方法は、焼戻し軟化抵抗性をもつ合金元素であるSi、Mo、Crをそれぞれ、Siを0.5重量%以上、Moを0.5重量%以上、Crを1.0重量%以上添加した鋼を、浸炭窒化直後表面から取代δを除去した時の仮想表

4

面における炭素濃度が0.8~1.0重量%、同じく表面窒化濃度が0.2~1.0重量%となるように浸炭窒化処理を行う。その後に焼入れ・焼戻しを行うことで製造する。

【0024】すなわち、上記浸炭窒化直後で焼入れ・焼戻し処理前の状態の、いわゆる黒皮状態においては、図15に示すように、完成品とするための切削取代δを残しており、上記表面の炭素濃度や窒化濃度は、上記黒皮品の表面から取代深さδだけ入った所の表面炭素濃度や表面窒素濃度を言う。図15中、1は黒皮を示し、2は完成品表面を示している。

【0025】ここで、Siを0.5重量%以上とした理由は、これ未満であると高温硬さが低下してしまい、300℃でHV600以上を満足しないためである。また、Siの上限は1.5重量%とする。理由は、1.5重量%を超えた場合、浸炭を阻害するため、表面が所定（0.8重量%以上）の炭素濃度にならなくなったり、浸炭深さが不足するなどの阻害がでてくるためである。

【0026】また、Moを0.5重量%以上とした理由は、これ未満であると高温硬さが低下してしまい、300℃でHV600以上を満足しないからである。Moの上限は3.0重量%とする。理由は、Moは高価な合金元素であり、3.0重量%以上添加しても、さほど高温での硬さは向上しないためである。

【0027】また、Crを1.0重量%以上とした理由は、これ未満であると、高温硬さが低下してしまい、300℃でHV600以上を満足しないからである。また、Crの上限を8.0重量%とする。これ以上添加すると巨大炭化物が析出するためである。

【0028】また、浸炭窒化直後表面から取代δを除去した時の仮想表面における炭素濃度が0.8~1.0重量%としたのは、0.8重量%未満では高温硬さが低下してしまい、300℃でHV600以上を満足しないからである。また、1.0重量%を越えると、巨大炭化物（5μmより大きい）が析出してしまふ。

【0029】また、浸炭窒化直後表面から取代δを除去した時の仮想表面における窒素濃度が0.2~1.0重量%としたのは、0.2重量%未満では高温硬さが低下してしまい300℃でHV600以上を満足しないからである。また、1.0重量%を越えると、切削性を著しく損なうからである。

【0030】第2の製造方法は、炭素が0.7重量%以下の鋼材料に、炭化物形成元素であるCr、Mo、Vをそれぞれ、Crを3.0~8.0重量%、Moを3.0重量%以上、Vを0.5重量%以上添加して浸炭後の表面炭素濃度が0.8~1.0重量%にあるように浸炭処理を施した後に焼入れを行い、さらに500℃以上の高温焼戻しを施すことにより表層部に微細な炭化物を析出させることで製造する。

【0031】ここで、上記表面炭素濃度の定義は、上記

第1の製造方法と同じである。また、Crを3.0～8.0重量%としたのは、3.0重量%未満であると炭化物析出硬化不足により300℃での硬さがHV600以上を満足しないからである。また、8.0重量%を越えると素材の段階で5μmより大きい炭化物が形成されてしまうからである。

【0032】また、Moを3.0重量%以上としたのは、3.0重量%未満であると炭化物析出硬化不足により300℃での硬さがHV600以上を満足しないからである。Moの上限は6.0重量%とする。Moは高価な合金元素であり、6.0重量%以上添加してもさほど高温での硬さは向上しないからである。

【0033】また、Vを0.5重量%以上としたのは、0.5重量%未満であるとCr、Moが規定量であっても300℃での硬さがHV600以上とならないからである。又、Vの上限は2.0重量%とする。理由は、これ以上添加すると前加工（鍛造、切削）工程において著しく加工性を劣化するためである。

【0034】また、素材の炭素を0.7重量%以下としたのは、0.7重量%より多いと、Cr、Mo、Vを多量に含んだ材料の場合、溶解時に5μmを越える炭化物が形成されるためである。

【0035】また、上記第2の製造方法において、完成品である焼入れ・焼戻し後の表面炭素濃度を使用せずに、浸炭及び浸炭窒化後の表面炭素濃度で特定した理由は、第2の製造方法では、例えば1000℃以上の高温*

*焼入れが必要となり、そのため、この焼入れ時に炭素の拡散などが起こり、浸炭及び浸炭窒化後と、焼入れ後とは表面炭素濃度が大幅に変化するためである。一方、浸炭又は浸炭窒化時に生成される炭化物や炭窒化物の巨大炭化物（最大粒径で表される）は、浸炭時の表面炭素濃度が支配的であって、そのあとの焼入れ加熱保持中の炭素の拡散の影響は余り受けない（あまり小さくならない）。このため、第2の製造方法では、浸炭及び浸炭窒化後の表面炭素濃度を特定している。

【0036】なお、上記二つの製造方法を比較した場合、第1の製造方法の方が望ましい。その理由を説明すると、材料コスト面において、第2の製造方法では高価な合金元素で焼戻し抵抗性を付与する。即ち、軟化抵抗性を持つMoやVを多量に使用する必要がある。また、製造面において、第2の製造方法では1000℃以上での高温焼入れが必要であり特別の熱処理設備が必要になる、などからである。

【0037】次に、上記二つの製造方法での各合金元素及び表面炭素濃度、表面窒素濃度を上述のように規定した理由を、次に説明する。各種材料及び各種熱処理を施したものの常温での表面硬さ及び高温での表面硬さ、及び炭化物・炭窒化物の最大粒径を調査したところ、下記表1に示す結果を得た。

【0038】

【表1】

第1製造方法

第2製造方法

材料	C (素材)	Si	Cr	Mo	V	熱処理	(**)		完成品表面の表面硬さ (HV)				完成品表面に析出する炭化物の最大粒径(μm)	備考	内容
							表面C%	表面N%	常温(20℃)	200℃	300℃	400℃			
A	1.02	0.25	1.49	0	0	a	(*)0.98	0	750	642	538	399	2.2	通常の SUJ2	従来例
B	1.02	0.25	1.49	0	0	b	(*)0.98	0	820	653	556	402	2.0	サブゼロ SUJ2 (常温硬さを上げたもの)	従来例
C	0.21	0.25	1.09	0	0	c	0.92	0	720	639	547	384	1.1	通常浸炭鋼	従来例
D	0.21	0.25	1.09	0	0	c	1.16	0	757	668	565	420	1.5	通常浸炭鋼 (過浸炭)	従来例
E	0.75	0.46	1.08	0.53	0	c	0.9	0.32	761	665	577	501	1.4	Si が不足	比較例
F	0.32	0.55	0.93	0.53	0	c	1.13	0.26	783	680	589	510	1.2	Cr が不足、過浸炭	比較例
G	0.46	0.55	1.09	0.41	0	c	0.91	0.31	767	671	581	499	2.5	Mo が不足	比較例
H	0.53	1.00	1.5	0.98	0	c	1.11	0.28	779	697	624	541	1.2	過浸炭	比較例
I	0.41	1.00	1.5	0.98	0	d	0.75	0.33	708	673	585	474	1.0	浸炭不足	比較例
J	0.41	1.00	1.5	0.98	0	d	0.9	0.12	760	680	579	441	2.3	窒化不足	比較例
K	0.41	1.00	1.5	0.98	0	c	0.88	0.3	768	691	618	534	0.9	低炭素の方法 (1) の実施例	実施例
L	0.82	0.53	1.1	0.57	0	c	0.97	0.35	773	694	620	539	4.3	高炭素の方法 (2) の実施例	実施例
M	0.81	0.2	4.02	4.21	1.02	d	(*)0.81	0	781	702	650	601	12	M50	従来例
N	0.99	0.6	17.1	0.21	0	d	(*)0.99	0	702	661	605	562	19	SUS440C	従来例
O	0.67	0.4	12.9	0.12	0	d	(*)0.67	0	681	628	579	519	8	炭化物を小さくしたステンレス	比較例
P	0.16	0.13	4.14	4.37	1.21	d	1.05	0	778	691	618	534	6	M50NiL	従来例
Q	0.74	0.18	2.73	3.63	1.07	e	0.98	0	697	642	582	518	7	Cr が不足、素材 C が多い	比較例
R	0.53	0.21	8.2	3.15	0.98	e	0.87	0	758	678	619	571	9	Cr が多い	比較例
S	0.61	0.19	4.31	2.53	0.98	d	1.04	0	684	639	580	515	8	Mo が不足、過浸炭	比較例
T	0.43	0.2	3.86	3.51	0.46	e	0.98	0	677	632	577	511	4.6	V が不足	比較例
U	0.8	0.25	3.4	3.6	0.77	e	0.95	0	761	681	620	581	11	素材 C が多い	比較例
V	0.36	0.2	3.81	3.9	1.00	d	1.12	0	784	693	619	530	17	過浸炭	比較例
W	0.36	0.2	3.81	3.9	1.00	f	0.72	0	721	642	587	521	0.7	浸炭不足	比較例
X	0.36	0.2	3.81	3.9	1.00	e	0.93	0	759	684	638	587	1.8	方法 (2) の実施例	実施例

(*)は浸炭、浸炭窒化処理を行っていないため、素材のC%を表記

(**)表面C%、N%は、第1製造方法では完成品表面での量を定義し、第2製造方法では浸炭後の表面での量を定義している。

ここで、材料A～Lは、第1の製造方法に関するものであり、材料M～Xは、第2の製造方法に関するものである。そして、材料K、L、Xが上記製造方法に則って製造された本発明に基づくものである。

【0039】また、表1中の熱処理方法a～fは、図9～図14に対応する方法である。即ち、

熱処理a：通常の焼入れを行った後に、焼戻しを行う

(図9参照)。

【0040】熱処理b：通常の焼入れ（サブゼロ処理）を行った後に、焼戻しを行う（図10参照）。

熱処理c：浸炭の後に、通常の焼入れ、焼戻しを行う（図11参照）。

【0041】熱処理d：浸炭窒化の後に、通常の焼入れ、焼戻しを行う（図12参照）。

熱処理e：高温焼入れ（サブゼロ処理）の後、焼戻しを複数回行う（図13参照）。

【0042】熱処理f：浸炭の後に、高温焼入れ（サブゼロ処理）を行い、更に焼戻しを複数回行う（図14参照）。

なお、浸炭・浸炭窒化後に狙う表面炭素濃度や窒素濃度は、表1中の各値に設定される。

【0043】まず、上記第1の製造方法での各規定値の限定理由を説明する。上記表1の比較材A～Eから、Siが規定値の0.5重量%より少ないと、比較材EのようにCrが規定量の1.0重量%以上で且つMoが規定量の0.5重量%以上であっても、300℃における硬さがHV600以上とならないことが分かる。また、比較材Fから、Siが規定値の0.5重量%以上で且つMoが規定量の0.5重量%以上であっても、Crが規定値の1.0重量%より少ないと300℃における硬さがHV600以上とならないことが分かる。さらに、比較材Gから、Siが規定値の0.5重量%以上で且つCrが規定値の1重量%以上であっても、Moが規定値の0.5重量%より少ないと300℃における硬さがHV600以上とならないことが分かる。

【0044】このような理由から、Si、Cr、Moの添加量をそれぞれ、上述のようにSi：0.5重量%以上、Mo：0.5重量%以上、Cr：1.0重量%以上に設定した。

【0045】さらに、上記Si、Cr、Moがそれぞれ規定量であっても、完成品表面での表面炭素濃度が0.8重量%未満の場合、比較材Iのように300℃における硬さがHV600以上を満足しない。また、完成品表面での表面炭素濃度が1.0重量%より多い場合、比較材D、F、Hのように炭化物及び炭窒化物の最大粒径が5μmより大きくなってしまふ（図8参照）。さらに、表面窒素濃度が0.2重量%より少ない場合、比較材Jのように300℃における硬さがHV600以上を満足しない。

【0046】このような理由から、完成品表面での表面炭素濃度を0.8～1.0重量%、表面窒化濃度を0.2重量%以上に設定した。そして、上述の規定値に則って製造された実施例K及び実施例Lは、300℃における硬さがHV600以上を満足し、且つ、炭化物及び炭窒化物の最大粒径が5μm以下となり、上記第1の製造方法によって、本発明に基づく完成品表面を持った軸受部品が製造できることが分かる。

【0047】次に、第2の製造方法での規定値の限定理

由を上記表1に基づき説明する。浸炭前の素材の表面炭素濃度を特定した理由は、この製造方法の場合、炭化物形成元素を多量に添加するため素材の炭素濃度が高いと素材の段階で大きな粒径の炭化物が析出される可能性があり、また、浸炭前の段階で析出している大きな炭化物は後の工程（熱処理など）で小さくすることは非常に難しいからである。

【0048】そして、上記表1の調査結果から、素材の炭素濃度が0.7重量%を越えると、比較材M、N、Q、Uのように、炭化物の大きさに影響を与えるCr量や浸炭後の表面炭素濃度にかかわらず、完成品表面の炭化物の粒径が5μmにより大幅に大きなものとなることを確認した。このため、浸炭前の炭素濃度を0.7重量%以下に設定した。

【0049】また、表1の比較材Qから、Crが規定値の3.0重量%より少ないと、300℃における硬さがHV600以上とならないことが分かる。また、比較材O、R、特に比較材RのようにMo、Vが規定量であっても、Crが規定量の8.0重量%より多いと、浸炭前の炭素濃度及び浸炭後の炭素濃度が規定量であっても、完成品表面に粒径が5μmより大きい炭化物が確認された。また、比較材Sから、Moが規定値の3.0重量%より少ないと、Cr、Vがそれぞれ規定量であっても、300℃における硬さがHV600以上とならないことが分かる。また、比較材Tから、Vが規定値の0.5重量%より少ないと、Cr、Moが規定量であっても、300℃における硬さがHV600以上とならないことが分かる。

【0050】このような理由から、上述のようにCr、Mo、Vの規定量を、それぞれCr：3.0～8.0重量%、Mo：3.0重量%以上、V：0.5重量%以上に設定した。

【0051】また、Cr、Mo、Vが規定量であっても、浸炭後の表面炭素濃度が0.8重量%未満の場合には、比較材Wのように、300℃における硬さがHV600以上とならない。また、浸炭後の表面炭素濃度が1.0重量%より多い場合には、比較材Vのように、完成品表面の炭化物及び炭窒化物の最大径が5μmよりも大幅に大きなものとなってしまう（図8参照）。

【0052】このような理由から、浸炭後で焼入れ・焼戻し前の表面炭素濃度を0.8～1.0重量%に設定した。そして、上述の第2の製造方法の各規定値に則って製造された実施例Xは、300℃における硬さがHV600以上を満足し、且つ、炭化物及び炭窒化物の最大粒径が5μm以下となり、上記第1の製造方法によって、本発明に基づく完成品表面を持った軸受部品が製造できることが分かる。

【0053】次に、上記表1に示した各材料A～Xに対して摩耗試験を行ったところ、下記表2のような結果が得られた。摩耗試験は、2円筒型摩耗試験及び高温高速

スラスト型試験である。2円筒型摩耗試験は、超低速域で油膜形成が厳しく且つすべりが大きい場合の摩耗試験である。また、高温高速スラスト型試験は、高温高压下で、油膜形成が厳しく、さらに高速スラスト型試験を用*

*いることでスピンすべりを極端に大きくした場合の摩耗試験である。

【0054】

【表2】

材料	完成品表面の表面硬さ (HV)				完成品表面の最大炭化物及び炭窒化物径 (μm)	2円筒型摩耗試験結果 単位すべり距離あたりの摩耗量 (g/m)	高温高速スラスト試験結果 試験後の表面粗さ
	常温 (20℃)	200℃	300℃	400℃			
A	750	642	538	399	2.2	0.007	0.014
B	820	653	556	402	2.0	0.0062	0.012
C	720	639	547	384	1.1	0.0079	0.012
D	757	688	565	420	15	0.0055	0.038
E	761	665	577	501	1.4	0.0042	0.013
F	783	680	589	510	12	0.0037	0.033
G	767	671	581	499	2.5	0.0041	0.016
H	779	697	624	541	12	0.0016	0.031
I	708	673	585	474	1.0	0.0046	0.012
J	760	680	579	441	2.3	0.0051	0.015
K	768	691	618	534	0.9	0.0019	0.011
L	773	694	620	539	3.6	0.0014	0.017
M	781	702	650	601	12	0.0014	0.04
N	702	661	605	562	19	0.0024	0.049
O	681	628	579	519	8	0.0035	0.03
P	778	691	618	534	6	0.0016	0.027
Q	697	642	582	518	7	0.0036	0.025
R	758	678	619	571	9	0.0019	0.032
S	684	639	580	515	8	0.0034	0.027
T	677	632	577	511	4.6	0.0039	0.019
U	761	681	620	581	11	0.0015	0.034
V	784	693	619	530	17	0.0014	0.045
W	721	642	587	521	0.7	0.0035	0.012
X	759	684	638	587	1.8	0.0018	0.012

ここで、2円筒型摩耗試験は、図1に示すように、一対の円筒状の試験片3を所定荷重で当接させた状態で回転駆動させたものである。そして、その試験条件の諸元は、次のものである。

【0055】

試験片形状 : 外径30mmφで厚さ7mmの円筒形状

試験片粗さ : Ra 0.008~0.01μm

駆動側回転速度 : 10rpm

従動側回転速度 : 7rpm

すべり率 : 30%

潤滑方式 : 滴下式

潤滑油 : スピンドル油#10

試験温度 : 室温(20℃)

面圧 : 120kgf/mm²

すべり距離 : 3000m

摩耗調査 : 試験後の摩耗量調査(重さ)

また、高温高速スラスト型試験は、図2に示すように、板状の試験片4にボール状の試験片5を当接し、スラスト荷重を負荷した状態で高速回転させたものである。その試験条件の諸元は、次のものである。

【0056】

試験片形状

板 : 外径60mmφで厚さ6mmの円板

ボール : (3/8)インチ

試験前の試験片粗さ

板 : Ra 0.008~0.01μm

ボール : Ra 0.006μm

P. C. D : 38.5mm

回転数 : 8000rpm

潤滑方式 : 強制潤滑

潤滑油 : MIL-L-23699D規格適合油

試験温度 : 150℃

面圧 : 300kgf/mm²

試験時間 : 20時間

摩耗調査 : 試験後の板及びボールの形状・粗さ測定、表面観察

そして、上記表2のうちの2円筒型摩耗試験の結果から分かるように、300℃における表面硬さがHV600以上の材料であるH、K、L、M、N、P、R、U、V、Xは、良好な耐摩耗性を示している。

【0057】ここで、上記2円筒型摩耗試験の結果である摩耗量と、各温度での硬さの関係を整理すると、図3から図6のような結果が得られる。これらの図から分かるように、常温(20℃)での表面硬さと耐摩耗性との間には明確な相関関係は得られず(図3参照)、高温での表面硬さと耐摩耗性との間には相関関係がある(図4～図6参照)。

【0058】即ち、室温での表面硬さがHV700~850の高硬度の鉄鋼材料の範囲においては、必ずしも耐摩耗性は常温での表面硬さの値に依存していないことがいえる。一方、高温での表面硬さが高い値を示すものは、耐摩耗性に優れている傾向を示しており、特に300℃以上での表面硬さと耐摩耗性との高い相関関係が見られる。

【0059】従って、300℃での表面硬さで評価することで、軌道輪や転動体に目的とする耐摩耗性を確実に確保することができる。また、上記表2のうちの高温高速スラスト試験結果を、炭化物及び炭窒化物の最大粒径

と試験後の表面粗さとの関係で整理すると図 7 に示すようなものとなる。なお、この試験は、試験前の表面粗さを上述のようにほぼ一定に設定して、試験後表面粗さを測定し、試験後の表面粗さが大きいものを耐摩耗性が劣っていると判断している。

【0060】この図 7 から分かるように、炭化物及び炭窒化物の粒径が大きくなる程、試験後の表面粗さが劣化しており、炭化物及び炭窒化物の粒径が $5\mu\text{m}$ 以下の材料 A, B, C, E, G, I, J, K, L, T, W, X では、試験後の表面粗さの劣化が他の材料に比べて小さく、粒径を $5\mu\text{m}$ 以下とすることに妥当性があることが分かる。

【0061】ここで、試験後の表面観察結果からも、図 16 (a) に示すように、炭化物及び炭窒化物の粒径が大きいものは面荒れが起こっており、図 17 (a) に示すように、粒径が $5\mu\text{m}$ 以下のものは面荒れの状態が軽度であった。さらに、面荒れのところを拡大観察すると、図 16 (b)、図 17 (b) に示すように、微小な圧痕が連続的に発生しており、その中でも最大粒径の圧痕は、炭化物及び炭窒化物の最大粒径とほぼ一致していた。この結果から考察するに、この試験での摩耗は、炭化物及び炭窒化物が、潤滑条件が厳しくメタル接触が起こる中で、素地（マルテンサイト）との硬さ及びヤング率の違いから、相手（板の場合はボール、ボールの場合は板）に損傷を与える、また、強い接線力を受けることにより炭化物及び炭窒化物が脱落し、その脱落した炭化物及び炭窒化物が異物として転動面に噛み込み圧痕を形成し損傷を与える、などの理由によるものと考えられる。実際に、試験後のボール 5 表面を観察したところ、上記図 16 及び図 17 の写真のように、炭化物が脱落した痕跡がみられる。

【0062】以上の結果から、潤滑が厳しくすべりが大きい使用環境下では、粒径の大きな炭化物等が表面粗さの劣化を招く一因となるので、上述のように、最大粒径は $5\mu\text{m}$ 以下が望ましい。

【0063】このように、条件の異なる 2 種類の摩耗試験結果を比べると、それぞれ異なった材料因子が耐摩耗性に影響を与えるのが分かる。そして、実際に軸受が使用される場合の耐摩耗性は、使用条件が限定されず、上記二つの条件の両方の耐摩耗性が良好であることが望まれる。この二つの条件の両方で耐摩耗性に優れた材料は、本発明に基づく材料 K, L, M のみであることが分かる。

【0064】

【発明の効果】以上説明してきたように、本発明の転がり軸受では、過酷条件下での耐摩耗性が確実に確保できるという効果がある。この結果、超低速で作動されたり、高温環境下で作動されるなど、油膜形成等の厳しい環境での使用であっても、耐久寿命が向上する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】2 円筒摩耗試験を説明するための概略図である。

10 【図 2】高温高速スラスト型試験を説明するための概略図である。

【図 3】常温（ 20°C ）での表面硬さと摩耗量との関係を示す図である。

【図 4】 200°C での表面硬さと摩耗量との関係を示す図である。

【図 5】 300°C での表面硬さと摩耗量との関係を示す図である。

【図 6】 400°C での表面硬さと摩耗量との関係を示す図である。

20 【図 7】炭化物・炭窒化物の最大粒径と試験後の表面粗さとの関係を示す図である。

【図 8】浸炭・浸炭窒化後の表面炭素濃度と炭化物・炭窒化物の最大粒径との関係を示す図である。

【図 9】熱処理 a を示す概念図である。

【図 10】熱処理 b を示す概念図である。

【図 11】熱処理 c を示す概念図である。

【図 12】熱処理 d を示す概念図である。

【図 13】熱処理 e を示す概念図である。

【図 14】熱処理 f を示す概念図である。

30 【図 15】完成品表面と切削取代との関係を示す概念図である。

【図 16】炭化物の最大粒径が $12\mu\text{m}$ の場合の摩耗試験後のボール表面の金属組織を示す写真であって、

(a) は 100 倍に拡大した写真を、(b) は 400 倍に拡大した写真である。

【図 17】炭化物の最大粒径が $0.9\mu\text{m}$ の場合の摩耗試験後のボール表面の金属組織を示す写真であって、

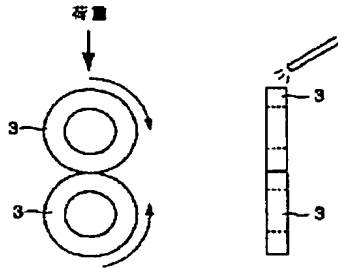
(a) は 100 倍に拡大した写真を、(b) は 400 倍に拡大した写真である。

40 【符号の説明】

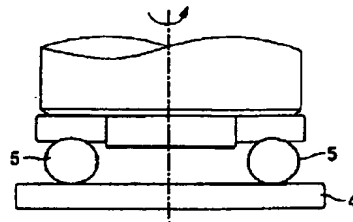
2 完成品表面

3～5 試験片

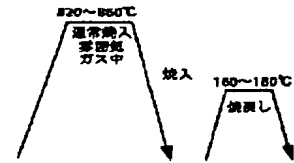
【図1】



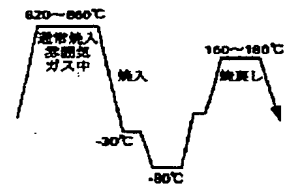
【図2】



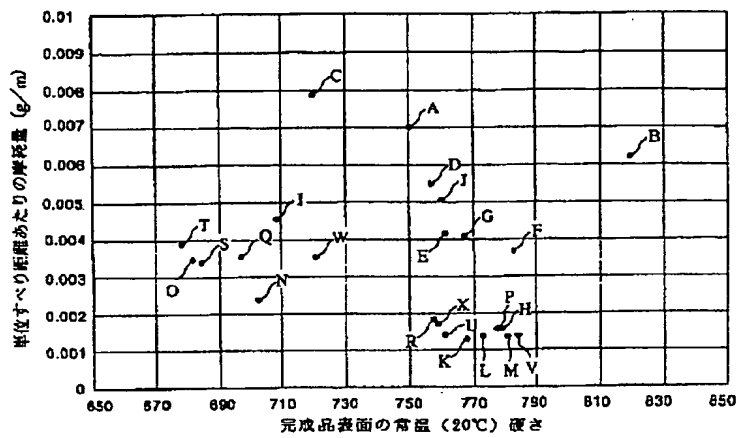
【図9】



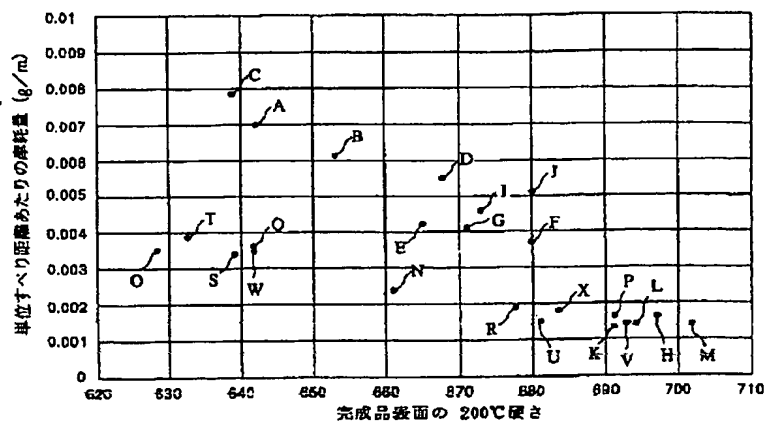
【図10】



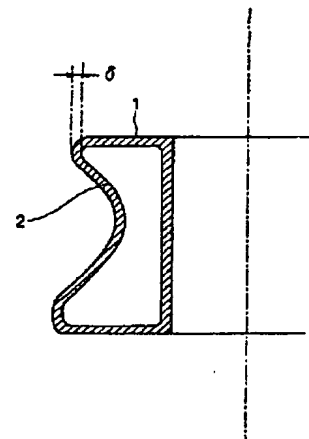
【図3】



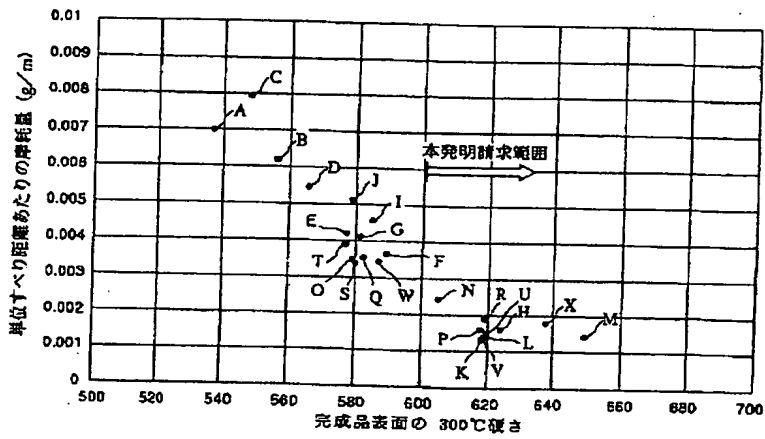
【図4】



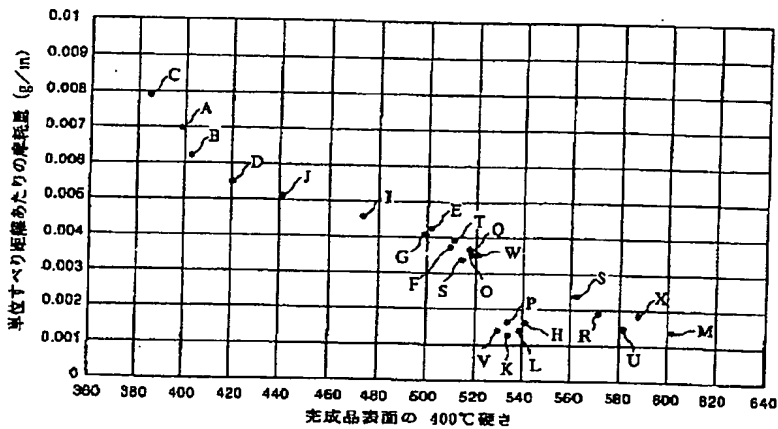
【図15】



【図5】



【図6】



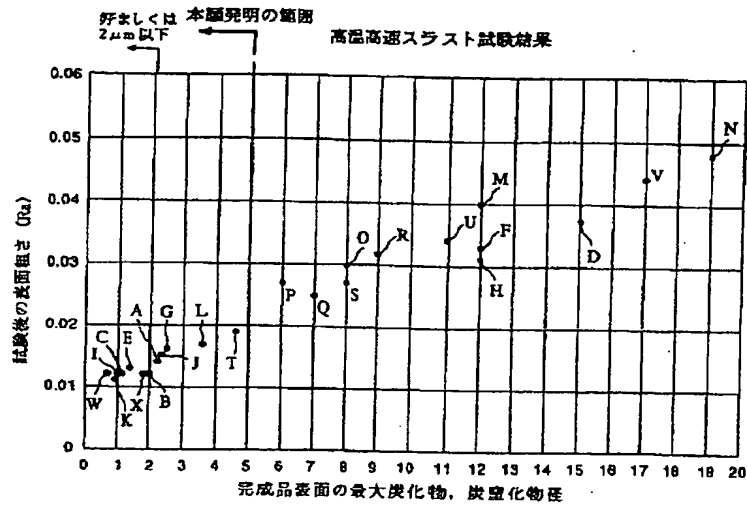
【図11】



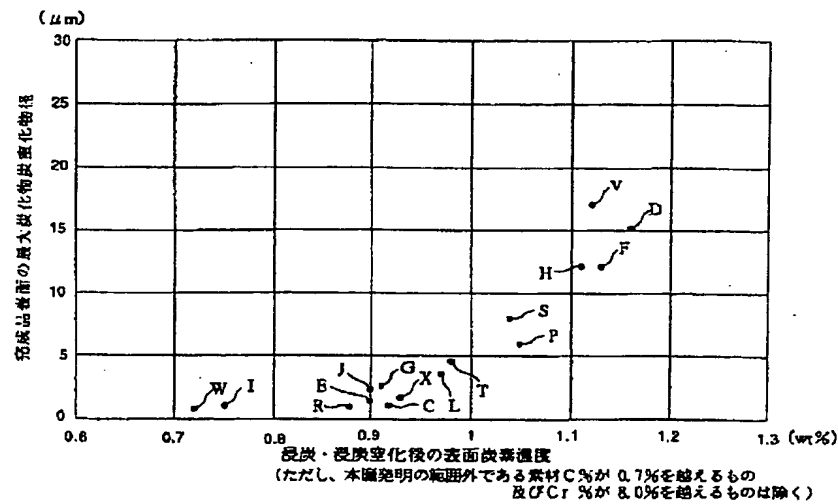
【図12】



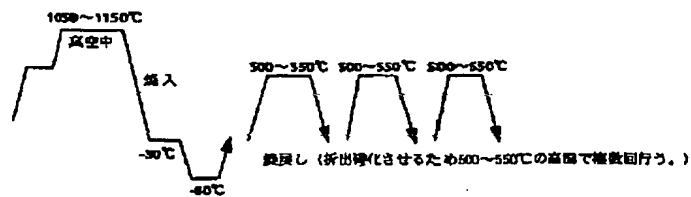
【図7】



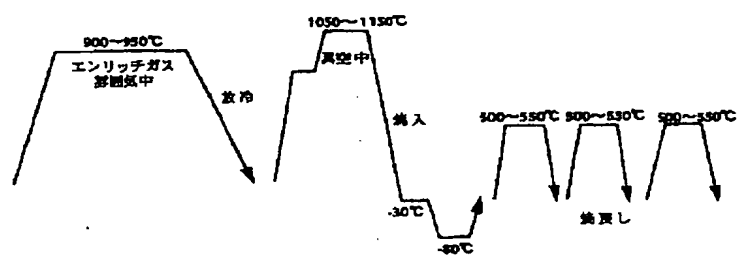
【図8】



【図13】



【図14】

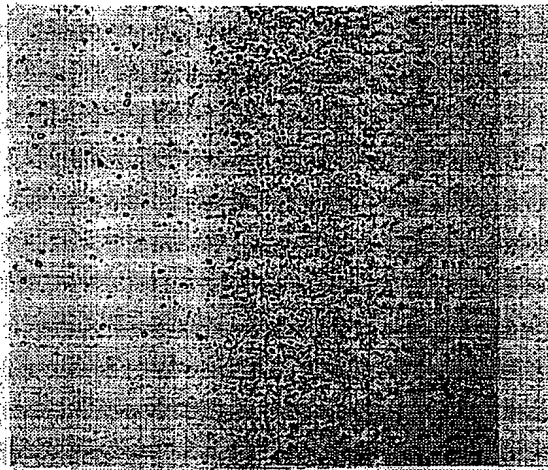


【図16】

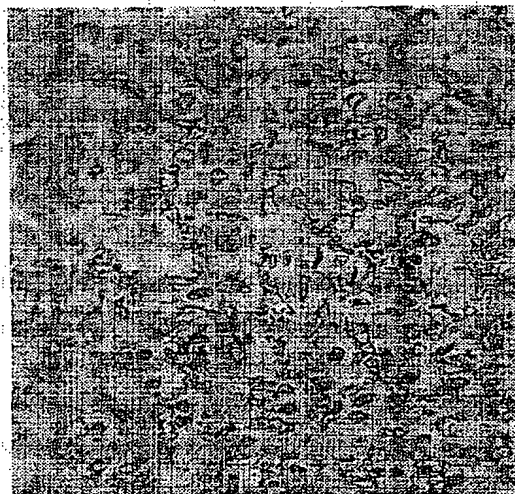
図面代用写真

材料M (最大炭化物径 $12\mu\text{m}$)

(a)

 $\times 100$ 拡大
↓

(b)

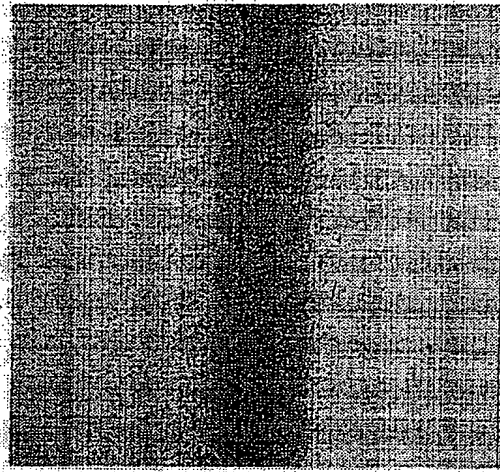
 $\times 400$

【図17】

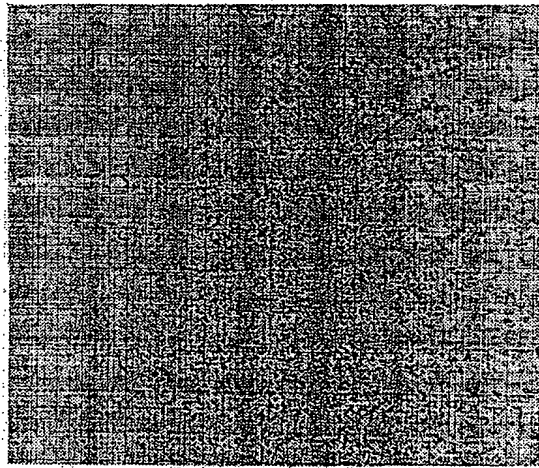
図面代用写真

材料 K (最大炭化物径 $0.9 \mu\text{m}$)

(a)

 $\times 100$ 拡大
↓

(b)

 $\times 400$